



Research on Attitude Determination and Step-length Prediction using Extended Kalman Filter and Artificial Neural Network for Shoe-type Gait Measurement Device

著者	Romy Budhi Widodo
その他のタイトル	拡張カルマンフィルタおよびニューラルネットを利用した靴型歩行計測装置の姿勢・歩幅推定に関する研究
学位授与番号	17104甲生工第288号
URL	http://hdl.handle.net/10228/00006206

氏名・(本籍)	Romy Budhi Widodo (インドネシア)
学位の種類	博 士 (工学)
学位記番号	生工博甲第 2 8 8 号
学位授与の日付	平成 2 9 年 3 月 2 4 日
学位授与の条件	学位規則第 4 条第 1 項該当
学位論文題目	Research on Attitude Determination and Step-length Prediction using Extended Kalman Filter and Artificial Neural Network for Shoe-type Gait Measurement Device (拡張カルマンフィルタおよびニューラルネットワークを利用した靴型歩行計測装置の姿勢・歩幅推定に関する研究)
論文審査委員会	委員長 教 授 柴田 智広 准教授 宮本 弘之 " 我妻 広明 " 高嶋 一登 教 授 和田 親宗

学 位 論 文 内 容 の 要 旨

本論文では、歩行訓練の支援を目的とした靴型歩行計測装置における靴姿勢および歩幅推定の精度向上のために、拡張カルマンフィルタとニューラルネットワークを適用した新しい計測手法について述べている。以下に、各章の概要を記す。

第 1 章では、本論文で対象としている研究の背景を述べ、研究の意義と目的を明らかにしている。研究目的は、1)靴姿勢推定時の外乱加速度の影響の低減、2)歩幅推定のための超音波センサ配置の再設計、3)歩行に必要となる圧力中心情報の取得の三つである。

第 2 章では、まず、関連研究を 1)外乱加速度の影響に関する研究、2)姿勢推定に関する研究、3)歩幅推定に関する研究、4)靴型歩行計測装置における圧力計測に関する研究、の 4 つに分けて紹介している。次に、関連研究における解決すべき課題を明らかにし、解決方法を提案している。

第 3 章では、靴の姿勢推定を行うための理論、拡張カルマンフィルタ (EKF) を用いた外乱加速度の影響を補償するモデルの提案、提案手法の評価実験と結果を述べている。まず、クォータニオン等を用いた靴の姿勢推定に関する運動方程式を提案した。そして、この提案手法の妥当性を、慣性センサ (加速度センサとジャイロセンサ) データを用いた予備実験で証明した。次に、運動方程式をもとに、EKF を組み込んだ外乱加速度補償モデルを提案し、その有効性を実測によって検証した。この際、他の研究結果との比較を行うため計 5 つの信号処理条件 (モード) を準備した。具体的には、「モー

ド 1：外乱加速度を補償しない信号処理条件」，「モード 2：本論文で提案している外乱加速度を補償する信号処理条件」，「モード 3：閾値に基づいた 2 段階 EKF による信号処理条件」，「モード 4：クォータニオンに基づいた EKF による信号処理条件」，「モード 5：閾値に基づいたカルマンフィルタによる信号処理条件」，である．これら信号処理条件に対して，「一方向に靴を動かす条件」，「多方向に靴を動かす条件」，「実際の歩行」の 3 つの条件下で計測実験を行い，光学式 3 次元モーションキャプチャシステムによる結果を真値として，誤差等の比較を行った．その結果，1)すべてのテストにおいて，モード 2 はモード 1 より優れていた，2)一方向条件において，モード 2 がいちばん優れていた．3)多方向条件において，モード 5 がいちばん優れていた．4)歩行実験において，モード 3 がいちばん優れていた．この結果を踏まえて，モード 2（提案手法）の利点として，a)セットするパラメータがモード 3 では 4 つであることに対して，モード 2 では 2 つであり，パラメータが少なく済むこと，b)パラメータ化する空間回転軸がモード 4 および 5 では 4 変数であることに対し，モード 2 では 2 変数と少なく済むこと，c)モード 5 に比べてモード 2 の計算時間は短いこと，を挙げ，提案手法の有効性を結論づけている．

第 4 章では，靴に装着した超音波センサによる歩幅推定手法を提案しその有効性を示している．まず，歩行時の歩幅および歩隔のデータから計測すべき範囲を決め，その範囲内であれば足がどこに位置した場合でも歩幅を計測できるよう，超音波センサの数，取り付け位置や角度の最適値を求めた．この際，超音波センサの特性を基にした音響シミュレーション手法を考案しており，結果として，従来手法よりセンサの個数を減らすことができている．次に，シミュレーション結果に基づき超音波センサを取り付けた靴型計測装置を試作した．そして，非線形最小二乗問題で広く用いられているレーベンバーグ・マーカート法を利用したニューラルネットワークモデルを考案し，超音波センサデータから精度良く歩幅を推定できるようアルゴリズムの学習を行わせた．最後に，モーションキャプチャシステムの計測値を真値として，歩行時の歩幅推定実験を行ったところ，従来手法に比べて，推定歩幅の平均誤差の減少が得られたことより，提案手法の有効性を結論づけている．

第 5 章では，歩行時の圧力中心情報（COP）の取得方法やその表示方法について述べている．まず，用いている圧力センサの校正方法を開発し，個々のセンサの校正を行った．次に，歩行時の COP 位置変化を考慮したセンサ配置を考案し，靴型装置に内蔵した．この際，第 3 章および第 4 章の結果をもとに，慣性センサおよび超音波センサも組み込んだ．併せて，第 3 章，第 4 章および本章の結果をもとにした COP 算出プログラムを開発し，歩行実験における COP 推定値の誤差を床反力計から求めた．その結果，誤差の少ない COP の推定に成功したことを述べている．

第 6 章では，本論文のまとめと今後の課題を述べている．まず，研究の成果のまとめとして，歩行訓練支援のために，靴の姿勢，歩幅と COP の軌跡情報の提供を可能にす

る知見を述べている。次に、実用化のために、更なる COP 誤差低減の必要性、精度向上のために他のセンサデータも含めた EKF モデルの作成、歩幅計測範囲の拡大、を挙げている。

学位論文審査の結果の要旨

本論文は、歩行訓練を支援するための靴型歩行計測装置を実現するために必要となる技術開発に関するものである。使用する慣性センサ、超音波センサ、圧力センサの問題点を解決する手法を提案し、その有効性を示している。

公聴会においては、多数の出席者があり、質問として、用いたニューラルネットワークモデルの利点、用いた圧力センサの個数の妥当性、超音波センサの個数や配置の決定方法の妥当性、ニューラルネットワークを使った場合のリアルタイム計測の実現方法、センサフュージョン技術を用いる場合の将来展望等について質問がなされたが、いずれも著者の説明により質問者の理解が得られた。

以上により、論文調査及び最終試験の結果に基づき、審査委員会において慎重に審査した結果、本論文が、博士（工学）の学位に十分値するものであると判断した。